

ВЛИЯНИЕ МИКРОЛЕГИРОВАНИЯ Nb и Mo НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВА НА ОСНОВЕ НИКЕЛИДА ТИТАНА

И.Е.Савин¹, А.А.Клопотов^{1,2}, Е.С.Марченко², В.Э.Гюнтер²

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. А.А. Клопотов

Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск, Россия, г. Томск, пл. Соляная, 2, 634050

E-mail: iLYa_ca96@mail.ru

¹Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск, Россия

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

Сплавы на основе никелида титана с термоупругими мартенситными превращениями (МП) и связанными с ними эффектами памяти формы (ЭПФ) обладают уникальными механическими свойствами и это находит большее практическое применение [1,2]. Одним из способов образования в сплавах на основе никелида титана новых структурно-фазовых состояний является микролегирование тугоплавкими металлами, которые могут играть ключевую роль в формировании их необычных физико-механических свойств. Конкретным примером таких сплавов являются сплавы на основе TiNi, легированные Nb и Mo [2].

В работе представлены данные по изучению микролегирования Nb и Mo на напряжения мартенситного сдвига в широком температурном интервале в сплаве на основе никелида титана

Сплав для исследований был выплавлен в индукционной печи ИСВ-0.004 ПИ М1 путем переплава губчатого титана и никеля марки Н1 с микролегирующими добавками Nb и Mo. Состав определяли по шихте. Потери веса при плавке не превышали 0,01 %. Состав исследуемого сплава $Ti_{50}Ni_{49,2}Nb_{0,5}Mo_{0,3}$.

Исследование прочностных свойств сплавов на основе никелида титана при различных температурах проводили на установке типа «Инстрон», методом одноосного растяжения. Температурную зависимость напряжения мартенситного сдвига сплава на основе никелида титана с термоупругими МП проводили на модернизированной установке для исследования предела прочности на разрыв [3].

Интегральной характеристикой механических свойств в сплавах с ЭПФ является температурная зависимость напряжения мартенситного сдвига $\sigma=f(T)$, которая количественно отражает термомеханические свойства сплавов с термоупругими мартенситными превращениями (МП) в широком температурном интервале [3]. При определенных температурах наблюдается ситуация, когда напряжение мартенситного сдвига материала достигает значений, при которых упругие напряжения, возникающие в ходе деформирования или в условиях термоциклирования, релаксируют пластически. По своему физическому смыслу напряжение мартенситного сдвига для сплавов с термоупругими МП, является напряжением, необходимым для образования и роста кристаллов низкотемпературной мартенситной фазы и это происходит в температурной области ниже начала [1]. Минимум на кривой $\sigma=f(T)$ (рис. 1) находится в области существования температуры начала МП (M_s). Это минимальное напряжение σ_{min}^{Ms} соответствует напряжению, которое необходимо приложить к сплаву для того, чтобы вызвать МП под действием приложенного внешнего напряжения. Другое характерное значение напряжения мартенситного сдвига соответствует максимуму на кривой $\sigma=f(T)$ при температуре M_d . Температура M_d соответствует максимальной температуре, при которой еще возможно зарождение и рост мартенситной фазы под действием внешнего приложенного напряжения. Значения напряжения σ_{max}^{Md} , соответствующего температуре M_d , совпадает с истинным пределом текучести аустенитной фазы [1,3]. Разница между значениями критических напряжений мартенситного сдвига $\sigma_{max}^{Md} - \sigma_{min}^{Ms}$ характеризует величину пластической деформации сплавов с термоупругими МП. Этот параметр является определяющим при проявлении ЭПФ в сплавах (рис. 1).

Другим важным свойством сплавов, обладающих ЭПФ являются диаграммы «напряжение-деформация» ($\sigma-\epsilon$), полученные при разных температурах. Эти диаграммы приведены в виде вставок на рис. 1. Деформационные диаграммы в координатах « $\sigma-\epsilon$ », полученные при разных температурах позволяют выделить различные вклады в деформацию сплава, обладающего термоупругими МП.

На основе анализа температурной зависимости $\sigma=f(T)$ в сплаве $\text{Ti}_{50}\text{Ni}_{49,2}\text{Nb}_{0,5}\text{Mo}_{0,3}$ и установлено, что температура M_s термоупругого МП под нагрузкой равна 360 К, температура $M_d=550$ К. На основе анализа зависимости $\sigma=f(T)$ определены $\sigma_{\min}^{Ms}=320$ МПа, $\sigma_{\max}^{Md}=530$ МПа. Получен температурный интервал проявления ферроэластичности: 260 – 330 К, температурный интервал ЭПФ: 340 – 410 К и температурная область проявления сверхэластичности: 410 – 470 К. Расчет $\sigma_{\max}^{Md} - \sigma_{\min}^{Ms}$ дал значение 190 МПа. Приведенные данные свидетельствуют о том, что сплав $\text{Ti}_{50}\text{Ni}_{49,2}\text{Nb}_{0,5}\text{Mo}_{0,3}$ имеет хорошие пластические свойства и обладает выраженным ЭПФ.

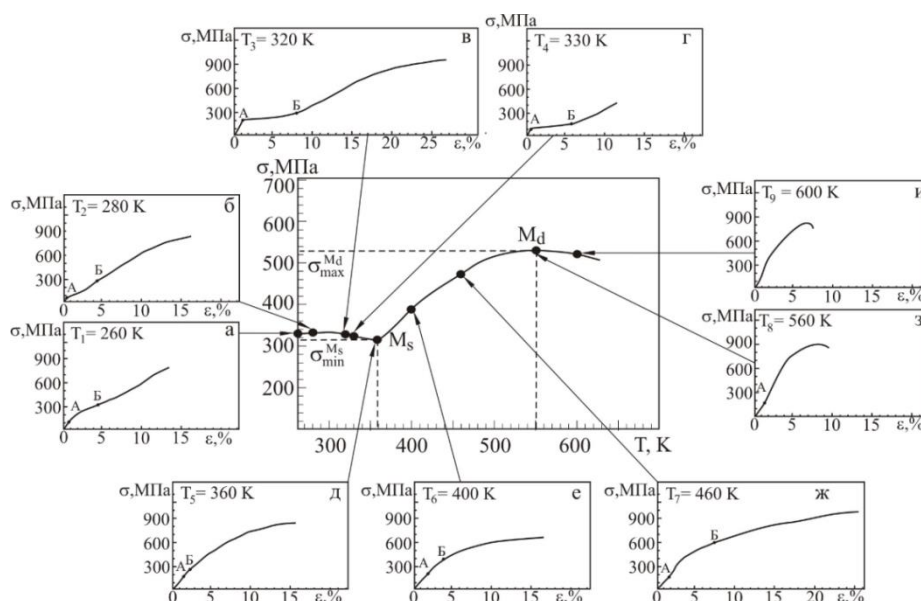


Рис. 1. Зависимость критических напряжений мартенситного сдвига от температуры сплав $\text{Ti}_{50}\text{Ni}_{49,2}\text{Nb}_{0,5}\text{Mo}_{0,3}$. Вставки (a-i) соответствуют зависимостям $\sigma=f(\epsilon)$ до разрушения при различных температурах испытаний

Другим важным свойством сплавов, обладающих ЭПФ являются диаграммы «напряжение-деформация» ($\sigma-\epsilon$), полученные при разных температурах (рис. 1, вставки a-i).

Серия диаграмм « $\sigma-\epsilon$ » для исследуемого сплава, полученная при разных температурах показывает эволюцию этих диаграмм с ростом температуры (рис. 1). На диаграмме « $\sigma-\epsilon$ », померенной в области температур M_s , хорошо проявляется «плато», (участок АВ на рис. 1, вставка в), который характеризует МП под действием приложенной нагрузки при данной температуре. Испытание, проведенное при более высокой температуре (рис. 1, вставка д) показывает, что «плато» на диаграмме « $\sigma-\epsilon$ » практически выродилось. Дальнейшее повышение температуры испытаний не привело к изменению вида кривой на диаграмме « $\sigma-\epsilon$ », но привело к росту σ_B^{\min} и ϵ_B . При температуре испытаний $T = 460$ К, наблюдается высокое значение напряжения разрушения σ_B^{\min} , оно достигает значений 1050 МПа и происходит при деформации порядка 40 %. Испытание на разрыв при температуре близкой к M_d , когда полностью исключен механизм деформации с участием мартенситного превращения образец рвется при небольших значениях деформации ($\epsilon_B \approx 12$ %).

ЛИТЕРАТУРА

1. А.И. Потекаев, А.А. Клопотов, Э.В. Козлов, В.В. Кулагина. Слабоустойчивые предпереходные структуры в никелиде титана. Томск: НТЛ. 2004. 296 с.
2. Е.С. Марченко, А.А. Клопотов, А.Н. Матюнин и др. Кристаллогеометрические параметры и фазовые диаграммы состояний бинарных Ti-Me, Ni-Me и тройных Ti-Ni-Me (Me=Nb, Mo) систем, физико-механические свойства сплавов (TiNi(Nb,Mo)) // Имплантаты с памятью формы. 2014. №1-2. С.27-38.